



P803211/W011

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 13 947 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
F 01 N 9/00
F 01 N 3/08

②1 Aktenzeichen: 101 13 947.0
②2 Anmeldetag: 22. 3. 2001
④3 Offenlegungstag: 26. 9. 2002

DE 101 13 947 A 1

⑦1 Anmelder:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:
Günther, Josef, Dipl.-Ing., 71563 Affalterbach, DE;
Voigtländer, Dirk, Dr.-Ing., 70825
Korntal-Münchingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Verringerung des Stickoxidgehalts im Abgas einer im Mager-Fett-Wechsel betreibbaren Brennkraftmaschine

⑤7 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Verringerung des Stickoxidgehalts im Abgas einer im Mager-Fett-Wechsel betreibbaren Brennkraftmaschine, die über eine Steuereinheit verfügt und eine Abgasleitung aufweist, in der in Strömungsrichtung hintereinander ein Start-Katalysator, ein Stickoxid-Speicher-Katalysator und ein SCR-Katalysator angeordnet sind, und mit wiederkehrenden Nitrat-Regenerationsphasen zur Regeneration des Stickoxid-Speicher-Katalysators. Erfindungsgemäß wird von der Steuereinheit die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators ermittelt und wenigstens innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine erhöht und der SCR-Katalysator in der Abgasleitung mindestens soweit stromab des Stickoxid-Speicher-Katalysators angeordnet, dass sich im überwiegenden Teil des vorgesehenen Betriebsbereichs der Brennkraftmaschine am Eingang des SCR-Katalysators eine um etwa 50°C bis etwa 150°C niedrigere Temperatur als am Eingang des Stickoxid-Speicher-Katalysators einstellt. Verwendung z. B. in Kraftfahrzeugen.

DE 101 13 947 A 1

BEST AVAILABLE COPY

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verringerung des Stickoxidgehalts im Abgas einer im Mager-Fett-Wechsel betreibbaren Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Bekannte Abgasreinigungsanlagen mit in Strömungsrichtung hintereinander angeordneten Katalysatoren, wie einem Start-Katalysator, einem Stickoxid-Speicher-Katalysator und einem SCR-Katalysator werden insbesondere in Kraftfahrzeugen eingesetzt, die eine im Mager-Fett-Wechsel betreibbare Brennkraftmaschine in Form eines direkt einspritzenden Ottomotors besitzen. Zur Stickoxid-Entfernung entzieht das im Katalysatormaterial des Stickoxid-Speicher-Katalysators beispielsweise vorhandene Barium-Carbonat bei magerem Betrieb der Brennkraftmaschine dem dann oxidierenden Abgas Stickoxid (NOx) unter Bildung von festem Barium-Nitrat. Aufgrund der damit verbundenen Materialerschöpfung wird von Zeit zu Zeit eine Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators notwendig. Die sogenannte Nitrat-Regeneration geschieht dadurch, dass die Brennkraftmaschine für eine gewisse Zeit fett betrieben wird. Das in dem resultierenden reduktionsmittelhaltigen Abgas instabile Barium-Nitrat zersetzt sich hierbei wieder unter Rückbildung von Barium-Carbonat und unter Freisetzung von NOx. Letzteres wird von den dann im Abgas vorhandenen Reduktionsmitteln (H₂, CO und HC) an der auf dem NOx-Speicher-Katalysator aufgetragenen Edelmetallkomponente überwiegend zu unschädlichem Stickstoff (N₂) reduziert. Eine auf der Basis des beschriebenen Verfahrens über lange Zeit andauernde NOx-Verringerung erfordert demnach einen wiederkehrenden Mager-Fett-Wechsel der Brennkraftmaschine, wobei allerdings der für die Nitrat-Regeneration notwendige Fett-Betrieb den im Mager-Betrieb erzielten Kraftstoffverbrauchsvorteil der Brennkraftmaschine schmälert. Mit Blick auf den Kraftstoffverbrauch ist daher ein möglichst hoher Zeitanteil des Mager-Betriebs anzustreben. Insbesondere bei einem direkt einspritzenden Ottomotor als Brennkraftmaschine für ein Kraftfahrzeug ist jedoch der Mager-Betrieb aus verbrennungstechnischen Gründen nur bei Niedriglast bzw. Teillast möglich, weshalb bei höheren Lasten solche Brennkraftmaschinen mit einem etwa stöchiometrischen oder sogar mit einem fetten (unterstöchiometrischen) Luft-Kraftstoffverhältnis betrieben werden.

[0003] Bei den vorliegenden reduzierenden Abgasbedingungen des Fett-Betriebs wird NOx an einem herkömmlichen NOx-Speicher-Katalysator von im Abgas enthaltenen H₂ zum Teil zu geruchsintensivem und schädlichem Ammoniak (NH₃) reduziert. Hauptsächlich erfolgt aber die NH₃-Bildung an einem dem NOx-Speicher-Katalysator vorgeschalteten Start-Katalysator. Wenn dem NOx-Speicher-Katalysator ein geeigneter SCR-Katalysator (SCR = Selective Catalytic Reduction) nachgeschaltet wird, der die Eigenschaft besitzt, unter reduzierenden (fetten) Bedingungen NH₃ einzuspeichern und unter oxidierenden (mageren) Bedingungen die Umsetzung des eingespeicherten NH₃ mit NOx zu unschädlichem N₂ zu katalysieren, ergibt sich vorteilhafterweise eine weitere Verringerung der NOx-Emission im Mager-Fett-Wechselbetrieb. Die Kombination von NOx-Speicher-Katalysator und SCR-Katalysator ermöglicht daher, die Mager-Betriebsphasen der Brennkraftmaschine ohne Verschlechterung der NOx-Verminderung deutlich zu verlängern, wobei es gegebenenfalls vorteilhaft ist, über eine erhöhte NOx-Bildung der Brennkraftmaschine die Bereitstellung von NH₃ zu steigern.

[0004] Eine gattungsgemäße Brennkraftmaschine mit dafür geeigneter Abgasnachbehandlungseinrichtung ist aus

der Offenlegungsschrift EP 0 802 315 A2 bekannt.

[0005] So zeigt die EP 0 802 315 A2 in einem Ausführungsbeispiel nach Fig. 13 eine Katalysatoranordnung mit einem als 3-Wege-Katalysator mit einer erhöhten NH₃-Bildungsfähigkeit ausgebildeten Start-Katalysator stromauf eines NOx-Speicher-Katalysators und nachgeschaltetem SCR-Katalysator. Nachteilig ist, dass einerseits die Wirksamkeit der bekannten NOx-Speicher-Katalysatoren unterhalb von ca. 250°C und oberhalb von ca. 450°C stark nachlässt. Andererseits ist zu beachten, dass typische SCR-Katalysatoren nur sinnvoll in einem Temperaturbereich zwischen ca. 200°C und ca. 450°C betrieben werden können. Die Fähigkeit zur NH₃-Speicherung ist bei niedrigen Temperaturen am höchsten und nimmt mit steigender Temperatur mehr oder weniger stark ab.

[0006] Daher ergibt sich, dass Zeitpunkt und Dauer des Fett-Betriebs zur NH₃-Erzeugung in Abhängigkeit von der Temperatur des NOx-Speicher-Katalysators und des SCR-Katalysators entscheidenden Einfluss auf den Verbrauch und den NOx-Ausstoß der im Mager-Fett-Wechsel betriebenen Brennkraftmaschine haben.

[0007] Die Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, ein Verfahren zum Betreiben einer Anlage der eingangs genannten Art anzugeben, bei dem die Bereitstellung von NH₃, die Menge des im SCR-Katalysator eingespeicherten NH₃, der NOx-Speicher-Betrieb und der Nitratregenerations-Betrieb des NOx-Speicher-Katalysators unter Berücksichtigung des jeweiligen Katalysatorzustands so aufeinander abgestimmt sind, dass eine möglichst effiziente Verringerung des NOx-Gehalts im Abgas in einem möglichst großen Betriebsbereich der Brennkraftmaschine erzielbar ist.

[0008] Die Erfindung löst diese Aufgabe durch die Angabe eines Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren legt die Ermittlung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators durch die Steuereinheit zugrunde, wodurch die zur NOx-Verminderung bei Mager-Betrieb im SCR-Katalysator zur Verfügung stehende NH₃-Menge bewertet werden kann. Wird von der Steuereinheit ein zu starkes Absinken der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators festgestellt, so wird zumindest innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen des NOx-Speicher-Katalysators der für die Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators notwendige Fett-Betrieb der Brennkraftmaschine zur NH₃-Bildung durch die z. B. am Startkatalysator stattfindende Reduktion von NOx zu NH₃ ausgenutzt. Die bei Fett-Betrieb üblicherweise relativ niedrige NOx-Bildung wird erhöht, wodurch es möglich wird, innerhalb der kurzen Zeit der Nitrat-Regeneration eine entsprechend starke Anhebung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators zu erreichen. Der Vorgang der Nitrat-Regeneration wird durch die Erhöhung der Stickoxidbildung dabei nicht beeinträchtigt. SCR- und NOx-Speicher-Katalysator werden damit wieder in einen hinsichtlich der NOx-Verminderung wirksamen Zustand gebracht und können anschließend erneut dementsprechend lange zur NOx-Verminderung im verbrauchsgünstigen Mager-Betrieb eingesetzt werden. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird vorteilhafterweise erreicht, dass deutlich weniger zusätzliche NH₃-Erzeugungsphasen mit den damit verbundenen Kraftstoffverbrauchsnachteilen notwendig werden. Eine Ausdehnung des Mager-Betriebs hinsichtlich des Betriebsbereichs der Brennkraftmaschine zu höheren Lasten und damit zu höheren Abgastemperaturen lässt sich dadurch erzielen, dass der SCR-Katalysator mindestens soweit stromab des NOx-Speicher-Katalysators angeordnet ist, dass sich im überwiegenden Teil des vorgesehenen Betriebsbereichs der Brennkraftmaschine am Eingang des SCR-Katalysators eine um etwa 50°C bis etwa 150°C niedrigere Temperatur als am Eingang

des NOx-Speicher-Katalysators einstellt. Dadurch kann der SCR-Katalysator auch dann noch zur NOx-Verminderung eingesetzt werden, wenn beim stromauf angeordneten NOx-Speicher-Katalysator die Temperatur-Obergrenze des Wirksamkeitsbereichs überschritten wird und dieser somit keinen oder nur einen geringen Beitrag zur NOx-Verminderung leisten kann. Dabei ist unter dem überwiegenden Teil des vorgesehenen Betriebsbereichs der Brennkraftmaschine der Betriebsbereich bei üblichem Fahrbetrieb nach erfolgtem Warmlauf zu verstehen.

[0010] Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Anspruch 1 angegebenen Verfahrens möglich.

[0011] Bei dem nach Anspruch 2 weitergebildeten Verfahren wird die Entscheidung darüber, ob ein Bedarf zur Erhöhung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators besteht, an die Bildung eines oberen Schwellenwertes S1 für die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators gebunden. Wird der von der Steuereinheit gebildete Schwellenwert S1 unterschritten, so wird die NH₃-Beladung dadurch angehoben, dass zumindest innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen des NOx-Speicher-Katalysators die NOx-Bildung der Brennkraftmaschine erhöht wird. Durch die z. B. am Startkatalysator stattfindende Reduktion von NOx zu NH₃ wird der erhöhte NOx-Ausstoß zur NH₃-Bildung genutzt.

[0012] Eine weitere Verfeinerung der Bewertung der aktuellen NH₃-Beladung des SCR-Katalysators wird gemäß des nach Anspruch 3 weitergebildeten Verfahrens dadurch erreicht, dass von der Steuereinheit zusätzlich zum oberen Schwellenwert S1 ein unterer Schwellenwert S2 für die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators gebildet wird. Liegt die NH₃-Beladung in dem Bereich zwischen S1 und S2, wird der Steuereinheit signalisiert, dass, außer der innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen vorgenommenen Erhöhung der NOx-Bildung und der nachfolgenden NOx-Reduktion zu NH₃, keine weiteren Maßnahmen zur Erhöhung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators notwendig sind. Durch das Zusammenfassen von Nitrat-Regeneration und NH₃-Bildung wird der dadurch notwendige Fett-Betrieb vorteilhafterweise optimal ausgenutzt und der damit verbundene Kraftstoffverbrauch minimiert.

[0013] Vorteilhafterweise werden die Schwellenwerte S1 und S2 für die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators gemäß Anspruch 7 in Abhängigkeit von der Temperatur des SCR-Katalysators und der Lastanforderung an die Brennkraftmaschine vorgegeben. Die Temperaturabhängigkeit der Schwellenwerte S1 und S2 kann z. B. auf die vom SCR-Katalysator maximal aufnehmbare NH₃-Menge bezogen sein, die ihrerseits sehr stark von der Temperatur des SCR-Katalysators abhängig ist. Auf diese Weise können die Schwellenwerte an die momentan vorhandene NH₃-Aufnahmekapazität des SCR-Katalysators angepasst werden. Die durch Wertezuordnung oder auf andere Weise vorliegende Temperaturabhängigkeit der maximalen NH₃-Beladung des SCR-Katalysators ist dabei zweckmäßigerweise in einem Speicher der Steuereinheit abgelegt, die wie üblich zusätzlich über Funktionen zur Dateneingabe und Datenausgabe sowie über datenverarbeitende Funktionen verfügt.

[0014] Es hat sich ferner als günstig erwiesen, gemäß Anspruch 6 nach erfolgtem Kaltstart wenigstens zeitweise während der ohnehin bei fettem Luft-Kraftstoffverhältnis durchgeführten Warmlaufphase der Brennkraftmaschine zusätzlich die NOx-Bildung der Brennkraftmaschine zu erhöhen. Durch diese Vorgehensweise wird bereits während des Warmlaufs der Brennkraftmaschine NH₃ z. B. am Startkatalysator gebildet und in den SCR-Katalysator eingelagert. Zum Zeitpunkt des Warmlaufs weist dieser noch eine relativ

niedrige Temperatur auf und ist daher in der Lage, relativ große NH₃-Mengen aufzunehmen. Der SCR-Katalysator verfügt somit beim Motorwarmlauf sofort mit Erreichen der Temperatur-Untergrenze seines Wirksamkeitsbereichs über eingespeichertes NH₃ zur NOx-Verminderung.

Zeichnung

[0015] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen

[0016] Fig. 1 ein schematisches Blockbild einer Brennkraftmaschine mit zugehöriger Abgasreinigungsanlage,

[0017] Fig. 2 ein Diagramm für den zeitlichen Verlauf des Luft-Kraftstoffverhältnisses der Brennkraftmaschine kurze Zeit vor, während und kurze Zeit nach der Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators und

[0018] Fig. 3 ein weiteres Diagramm für den zeitlichen Verlauf des Luft-Kraftstoffverhältnisses der Brennkraftmaschine kurze Zeit vor, während und kurze Zeit nach der Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0019] Die in Fig. 1 schematisch gezeigte Anlage dient zur Reinigung des Abgases einer Brennkraftmaschine 1, wie sie z. B. in einem Kraftfahrzeug eingesetzt wird und beispielsweise in Form eines direkt einspritzenden Ottomotors ausgebildet ist. Die Anlage weist einen in einer Abgasleitung 2 motornah angeordneten Startkatalysator 3 sowie nachgeschaltet einen NOx-Speicher-Katalysator 4 und einen SCR-Katalysator 5 auf, wobei letztere 4, 5 in der Unterbodenanlage des Kraftfahrzeugs verbaut sein können. Des Weiteren ist in der Abgasleitung 2 stromauf des Startkatalysators 3 ein Sauerstoffsensor 6 untergebracht, welcher als Signalgeber für die Regelung des Luft-Kraftstoffverhältnisses der Brennkraftmaschine 1 während des Mager-Fett-Wechselbetriebs dient. Ausgangsseitig des NOx-Speicher-Katalysators 4 ist in der Abgasleitung 2 ein auf NOx und NH₃ empfindlicher Sensor 8 untergebracht. Die Messung der Temperatur ist in der skizzierten Anlage durch entsprechend positionierte Temperatursensoren 7 und 9 eingangsseitig von NOx-Speicher-Katalysator 4 und SCR-Katalysator 5 möglich. Die Signale der Sensoren 6, 7, 8, 9 werden über Messleitungen 10 der Steuereinheit 11 als Eingabegrößen zugeführt. Mittels der in der Steuereinheit 11 implementierten Funktionalität erfolgt über eine Steuerleitung 12 zwischen Brennkraftmaschine 1 und Steuereinheit 11 die Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 1.

[0020] Der in Fig. 1 eingezeichnete Startkatalysator 3 besitzt aufgrund seiner katalytischen Beschichtung sowohl die Wirkung eines Oxidationskatalysators, als auch die Eigenschaft unter den reduzierenden Bedingungen eines fetten Betriebs der Brennkraftmaschine 1 das im Abgas vorhandene NOx chemisch zu NH₃ zu reduzieren. Demgegenüber verfügt der NOx-Speicher-Katalysator 4 über die Fähigkeit, unter den oxidierenden Bedingungen eines mageren Betriebs der Brennkraftmaschine 1 das im Abgas vorhandene NOx, hauptsächlich durch chemische Bindung als Nitrat an das Beschichtungsmaterial, aufzunehmen und unter reduzierenden Bedingungen wieder freizusetzen und zum größten Teil in unschädlichen Stickstoff umzusetzen. Der stromab des NOx-Speicher-Katalysators 4 angeordnete SCR-Katalysator 5 besitzt die, z. B. auch aus der Kraftwerkstechnik her bekannte Eigenschaft, bei reduzierenden Bedingungen NH₃ einspeichern zu können und bei oxidierenden Bedingungen dieses eingespeicherte NH₃ dann als Reaktionspartner in einer selektiven katalytischen Reduktionsreaktion unter Stick-

stoffbildung zur chemischen Reduktion von NO_x nutzen zu können.

[0021] Die letztgenannte Eigenschaft wird insbesondere dazu genutzt, NO_x durch die genannte selektive Reduktionsreaktion unschädlich zu machen. Das NO_x resultiert aus der im Verlauf der NO_x-Speicherung zunehmenden Erschöpfung des NO_x-Speichermaterials bei Mager-Betrieb der Brennkraftmaschine (zunehmender NO_x-Schlupf). Vor-
aussetzung für dieses Verhalten des SCR-Katalysators 5 ist allerdings, dass ihm zuvor entsprechende Mengen an NH₃ zur
Einspeicherung zur Verfügung gestellt wurden. Dies wird durch Einstellung reduzierender Bedingungen, d. h. durch Einstellung eines fetten Betriebs der Brennkraftma-
schine 1 und der oben genannten NH₃-Bildung am Startka-
talyator 3 erreicht. Je nach NH₃-Bedarf kann es dabei not-
wendig werden, die NH₃-Bildung durch eine mehr oder we-
niger starke Erhöhung der bei fettem Betrieb der Brenn-
kraftmaschine 1 üblicherweise relativ niedrigen NO_x-Bil-
dung zu vergrößern. Dies gelingt durch eine Erhöhung der
Verbrennungstemperaturen im Brennraum, was wiederum
durch eine Frühverstellung des Zündwinkels bei einer
fremdgezündeten Brennkraftmaschine bzw. durch eine
Frühverlegung der Kraftstoffeinspritzung erzielt wird.

[0022] Ist die Stärke des NO_x-Schlupfes im Mager-Be-
trieb der Brennkraftmaschine 1 auf ein inakzeptables Maß
angestiegen, muss der NO_x-Speicher-Katalysator 4 durch
Bereitstellung von Reduktionsmittel einer Nitrat-Regenera-
tion unterzogen werden, was ebenfalls durch Umsteuern der
Brennkraftmaschine von Magerauf Fett-Betrieb bewerkstel-
ligt wird. Insgesamt wird durch den beschriebenen wieder-
kehrenden Wechsel von Mager- und Fett-Betrieb eine effek-
tive Entfernung von NO_x aus dem Abgas der Brennkraftma-
schine 1 erreicht. Im Vergleich zu einer Abgasanlage, die
nur mit einem NO_x-Speicher-Katalysator ausgestattet ist,
kann durch das Zusammenwirken von NO_x-Speicher-Kata-
lyator 4 und SCR-Katalysator 5 die Länge der Mager-Be-
triebsphasen deutlich ausgedehnt werden und damit auch
eine entsprechend größere Kraftstoffverbrauchersparnis er-
zielt werden.

[0023] Typischerweise weist der NO_x-Speicher-Katalysa-
tor 4 in einem Temperaturbereich von etwa 250°C bis 450°C
bzw. der SCR-Katalysator 5 in einem Temperaturbereich
(Temperaturfenster) von 200°C und 450°C eine gute Wir-
ksamkeit auf. Mit Blick auf die Lage der Temperaturfenster
ist der Abstand des SCR-Katalysators 5 vom NO_x-Speicher-
Katalysator 4 so gewählt, dass der SCR-Katalysator 5 nach
erfolgttem Warmlauf im realen Fahrbetrieb eine um etwa
50°C bis 150°C niedrigere Temperatur als der stromauf-
angordnete NO_x-Speicher-Katalysator 4 aufweist. Es ergibt
sich damit, dass der SCR-Katalysator 5 auch dann noch
wirksam ist, wenn z. B. aufgrund einer erhöhten Motorlast
die Temperatur des NO_x-Speicher-Katalysators 4 auf bis zu
600°C angestiegen, und er damit unwirksam geworden ist.
Die Wirksamkeit des SCR-Katalysators ist dabei immer
noch gegeben, da er eine niedrigere Temperatur besitzt. Mit-
hin ergibt sich für dieses kombinierte Katalysatorsystem ein
erweitertes Betriebs-Temperaturfenster von etwa 250°C bis
600 °C, bezogen auf die Abgastemperatur am Eintritt in den
NO_x-Speicher-Katalysators 4 und damit auch die Möglich-
keit, die Brennkraftmaschine 1 in einem vergrößerten Last-
Bereich mager zu betreiben. Durch besondere konstruktive
Maßnahmen, wie z. B. eine speziell gestaltete Abgasleitung
2 oder durch Anwendung spezieller Maßnahmen zur Küh-
lung des Abgases, kann die üblicherweise vorhandene Tem-
peraturdifferenz von etwa 50°C bis 150°C zwischen NO_x-
Katalysator 4 und SCR-Katalysator 5 noch weiter erhöht
werden, falls dies aufgrund der Motorcharakteristik oder der
Art der eingesetzten Katalysatoren erforderlich ist.

[0024] Abhängig von der durch die Temperatursensoren 7
und 9 festgestellten Temperatur der jeweiligen Katalysato-
ren 4, 5 wird entweder die Brennkraftmaschine 1 in reinem
Mager-Fett-Wechsel ohne zusätzliche NH₃-Erzeugung be-
trieben und damit die NO_x-Verminderung hauptsächlich
vom NO_x-Katalysator 4 übernommen. Oder es wird die
NO_x-Verminderung ganz oder teilweise am SCR-Katalysa-
tor 5 durchgeführt, was jedoch erfordert, dass dieser über
eine ausreichende Menge an eingespeichertem NH₃ verfügt.
Die im SCR-Katalysator 5 vorhandene NH₃-Beladung wird
über eine sensorisch ausgangsseitig des NO_x-Speicher-Ka-
talyators 4 gemessene Konzentration von NO_x und NH₃
ermittelt. Im vorliegenden Fall geschieht dies mit Hilfe des
auf NO_x und NH₃ empfindlichen NO_x/NH₃-Sensors 8 un-
ter Einbeziehung des durch die Motorlast bestimmten Ab-
gasstroms in der Steuereinheit 11 durch laufende Aufsum-
mierung der dort errechneten NO_x- und NH₃-Massen-
ströme. Dabei wird berücksichtigt, dass in den SCR-Kataly-
sator 5 eingetragenes NO_x durch Reaktion mit eingespei-
chertem NH₃ die NH₃-Beladung entsprechend vermindert.
Die Ermittlung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5
kann jedoch auch mit getrennten Sensoren für die NO_x- und
NH₃-Konzentration oder modellbasiert vorgenommen wer-
den, wobei auf z. B. in der Steuereinheit 11 abgelegte ent-
sprechende Kennfelder für die Temperatur der Katalysato-
ren 3, 4, 5, den NO_x-Ausstoß der Brennkraftmaschine 1
oder weiterer wesentlicher Größen zurückgegriffen wird.

[0025] Wird von der Steuereinheit 11 ein Absinken der
NH₃-Beladung festgestellt, so wird zumindest während ein-
es Teils der Nitrat-Regeneration des NO_x-Speicher-Kata-
lyators 4 die NO_x-Bildung der Brennkraftmaschine 1 er-
höht und unter den gleichzeitig vorhandenen reduzierenden
Bedingungen des fetten Luft-Kraftstoffverhältnisses das in
vermehrtem Maße ausgestoßene NO_x zum größten Teil am
Startkatalysator 3 zu NH₃ reduziert. Für die NH₃-Beladung
des SCR-Katalysators 5 wird dabei zweckmäßigerweise ein
geeigneter oberer Schwellenwert S1 und unterer Schwellen-
wert S2 festgesetzt. Diese Schwellenwerte S1, S2 sind z. B.
ins Verhältnis zu der bekannten temperaturabhängigen ma-
ximalen NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5 gesetzt.
Somit kann die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5 be-
wertet und bei unterschiedlich starkem Absinken der NH₃-
Beladung entsprechend reagiert werden.

[0026] Durch eine ebenfalls in der Steuereinheit 11 hinter-
legte, z. B. monoton ansteigende, Abhängigkeit der Schwel-
lenwerte S1, S2 und S3 von der Lastanforderung an die
Brennkraftmaschine 1 wird berücksichtigt, dass bei einer
hohen NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5 erst bei ver-
gleichsweise hoher Lastanforderung die NO_x-Bildung er-
höht bzw. die NH₃-Bildung ausgelöst wird und umgekehrt
bei einer niedrigen NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5
bereits bei vergleichsweise niedriger Lastanforderung die
NO_x-Bildung erhöht bzw. die NH₃-Bildung ausgelöst wird,
so dass ständig eine gewisse NH₃-Beladung des SCR-Kata-
lyators 5 aufrechterhalten wird.

[0027] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf den in
Fig. 2 gezeigten zeitlichen Verlauf des Luft-Kraftstoffver-
hältnisses kurze Zeit vor, während und kurze Zeit nach der
Nitrat-Regeneration des NO_x-Speicher-Katalysators 4 die
Vorgehensweise erläutert, wenn die NH₃-Beladung des
SCR-Katalysators 5 zwar den Schwellenwert S1, nicht aber
den Schwellenwert S2 unterschritten hat.

[0028] Der Bereich von S1 bis S2 für die NH₃-Beladung
des SCR-Katalysators 5 ist so gewählt, dass eine NH₃-Bil-
dung an den vorgeschalteten Katalysatoren 3 und 4 inner-
halb der ohnedies von Zeit zu Zeit notwendig werdenden
Nitrat-Regenerationsphasen des NO_x-Speicher-Katalysa-
tors 4 als geeignet angesehen werden kann, um die NH₃-Be-

ladung des SCR-Katalysators 5 wieder ausreichend anzuheben. Wird vom NOx/NH3-Sensor 8 ein entsprechend hoher NOx-Schlupf des NOx-Speicher-Katalysators 4 gemessen, so wird zum Zeitpunkt t0 dessen Nitrat-Regeneration eingeleitet. Hierzu wird ausgehend von dem deutlich über 1,0 liegenden Luft-Kraftstoffverhältnis des Mager-Betriebs zunächst in einer ersten Phase a für kurze Zeit zu einem stark fetten Luft-Kraftstoffverhältnis von kleiner als 0,8 für den Betrieb der Brennkraftmaschine gewechselt. Grund hierfür ist, dass damit in sehr kurzer Zeit der bei Mager-Betrieb gespeicherte Sauerstoff aus dem Speichermaterial des NOx-Speicher-Katalysators 4 entfernt werden kann. Anschließend wird zum Zeitpunkt t1 auf ein leicht fettes Luft-Kraftstoffverhältnis vorzugsweise zwischen 0,90 und 0,995 gewechselt und die Nitrat-Regeneration fortgesetzt. Dabei kann der Übergang von starker Anfettung auf das schwach fette Luft-Kraftstoffverhältnis an Stelle der in Fig. 2 dargestellten sprunghaften Änderung auch gleitend erfolgen. Gleichzeitig wird die unter diesen Bedingungen übliche geringe NOx-Bildung der Brennkraftmaschine 1 durch eine Früh-Verstellung des Zündwinkels und/oder des Zeitpunkts der Kraftstoff-Einspritzung erhöht. Das auf diese Weise motorisch erzeugte NOx wird unter den dann vorherrschenden leicht fetten Bedingungen hauptsächlich am motornah angebrachten Start-Katalysator 3 aber auch am nachfolgenden NOx-Speicher-Katalysator 4 nahezu vollständig in NH3 umgewandelt und anschließend im SCR-Katalysator 5 eingelagert, wodurch dessen NH3-Beladung angehoben wird. Nachdem diese zweite Phase b der Nitrat-Regeneration zum Zeitpunkt t2 abgeschlossen ist, wird zum hohen Luft-Kraftstoffverhältnis des Mager-Betriebs zurückgekehrt und Zündwinkel und Kraftstoff-Einspritzbeginn auf die dafür vorgesehenen Werte eingestellt. Kurz vor Beginn der nächsten Nitrat-Regeneration wird aufgrund der dann vorhandenen NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 entschieden, ob dabei auf zusätzliche NOx-Erzeugungsmaßnahmen verzichtet werden kann (NH3-Beladung > S1) oder ob diese notwendig sind (NH3-Beladung < S1).

[0029] Für den Fall, dass die NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 den Schwellenwert S2 unterschritten hat, sind weitere zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der NOx-Bildung und NH3-Bildung notwendig. Die entsprechende Vorgehensweise zur Steuerung der Brennkraftmaschine wird unter Bezugnahme auf den in Fig. 3 gezeigten zeitlichen Verlauf des Luft-Kraftstoffverhältnisses kurze Zeit vor, während und kurze Zeit nach der Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators 4 exemplarisch aufgezeigt.

[0030] Auch für den Fall, dass die NH3-Beladung den Schwellenwert S2 unterschritten hat, bleibt zunächst der Mager-Betrieb der Brennkraftmaschine 1 bis zum Auftreten des Bedarfs für die Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators 4 bestehen. Sodann wird die Nitrat-Regeneration mit kurzzeitiger starker Anfettung auf ein Luft-Kraftstoffverhältnis von kleiner als 0,8 im Teil a und mit erhöhter NOx-Bildung im zweiten Teil b durchgeführt. Allerdings wird nun auf die Weise auf die stärker abgesunkene NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 reagiert, dass die Bedingungen des zweiten Teils b der Nitrat-Regeneration weiterhin beibehalten werden. Und zwar wird die durch Frühverstellung von Zündwinkel und/oder Einspritzbeginn erhöhte NOx-Bildung bei dem leicht fett eingestellten Luft-Kraftstoffverhältnis zwischen vorzugsweise 0,9 und 0,995 auch nach der zum Zeitpunkt t2 abgeschlossenen Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators 4 bis zum Zeitpunkt t3 zum Zwecke der weiteren Bildung von NH3 aufrechterhalten. Da nach Abschluss der Nitrat-Regeneration zum Zeitpunkt t2 der NOx-Speicher-Katalysator 4 von oxidierend wirkendem eingespeicherten Sauerstoff bzw. Nitrat be-

freit ist, findet unter den fortbestehenden leicht fetten Bedingungen auch an diesem Katalysator 4 eine effektive NH3-Bildung statt. Die eingestellten verbrauchsungünstigen Bedingungen müssen daher meist nur kurze Zeit über t2 hinaus beibehalten werden, da die NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 entsprechend schnell wieder angehoben wird.

[0031] Ist die NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 unter den Schwellenwert S2 abgesunken und gleichzeitig z. B. durch besondere Betriebsbedingungen ein erhöhter Leistungsbedarf des SCR-Katalysators gegeben, wird sogleich ein Luft-Kraftstoffverhältnis vorzugsweise zwischen 0,9 und 0,995 eingestellt, ohne Rücksicht darauf, ob dies im Hinblick auf eine Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators notwendig und zweckmäßig wäre. Gleichzeitig wird die NH3-Bildung über eine zusätzliche Erhöhung der NOx-Bildung durch die Frühverstellung von Zündwinkel und/oder Einspritzbeginn gesteigert. Damit wird ein rascher Anstieg der NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 erzielt, so dass entsprechend schnell in den erwünschten Mager-Betrieb der Brennkraftmaschine 1 zurückgeschaltet werden kann.

[0032] Die hohe NH3-Speicherfähigkeit des SCR-Katalysators 5 bei niedriger Temperatur und die bei Kaltstart bzw. Warmlauf der Brennkraftmaschine 1 meist ohnehin vorhandene fette Einstellung des Luft-Kraftstoffverhältnis wird mit Vorteil ausgenutzt, indem bereits der Kaltstart bzw. Warmlauf der Brennkraftmaschine 1 so vorgenommen wird, dass eine erhöhte NOx-Bildung auftritt. Diese wird durch Frühverstellung von Zündwinkel und/oder Einspritzbeginn erst dann gestartet, wenn der Startkatalysator 3 die für die Umsetzung von NOx zu NH3 notwendige Mindesttemperatur erreicht hat. Auf diese Weise wird erreicht, dass im SCR-Katalysator 5 zum frühest möglichen Zeitpunkt des Brennkraftmaschinenbetriebs NH3 eingespeichert wird und der SCR-Katalysator 5 somit sofort mit Erreichen seiner Betriebstemperatur für die NOx-Verminderung im Mager-Betrieb zur Verfügung steht.

Patentsprüche

1. Verfahren zur Verringerung des Stickoxidgehalts im Abgas einer im Mager-Fett-Wechsel betreibbaren Brennkraftmaschine (1), die über eine Steuereinheit (11) verfügt und eine Abgasleitung (2) aufweist, in der in Strömungsrichtung hintereinander ein Start-Katalysator (3), ein Stickoxid-Speicher-Katalysator (4) und ein SCR-Katalysator (5) angeordnet sind, wobei zur Regeneration des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) wiederkehrende Nitrat-Regenerationsphasen durchgeführt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die NH3-Beladung des SCR-Katalysators (5) von der die Steuereinheit (11) ermittelt und wenigstens innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird, wobei der SCR-Katalysator (5) in der Abgasleitung (2) mindestens soweit stromab des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) angeordnet ist, dass sich im überwiegenden Teil des vorgesehenen Betriebsbereichs der Brennkraftmaschine (1) am Eingang des SCR-Katalysators (5) eine um etwa 50°C bis etwa 150°C niedrigere Temperatur als am Eingang des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) einstellt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein oberer Schwellenwert S1 für die NH3-Beladung des SCR-Katalysators (5) vorgegeben wird und wenigstens innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen zur Regeneration des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1)

- erhöht wird, wenn die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) unter den Schwellenwert S1 abgesunken ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein unterer Schwellenwert S2 für die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) vorgegeben wird und nur innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen zur Regeneration des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird, wenn die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) unter den Schwellenwert S1, jedoch nicht unter den Schwellenwert S2 abgesunken ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen zur Regeneration des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) und im direkten Anschluss an die Nitrat-Regenerationsphasen die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird, wenn die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) unter den Schwellenwert S2 abgesunken ist.
5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird wenn die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) unter den Schwellenwert S2 abgesunken ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zeitweise während des Warmlaufs der Brennkraftmaschine (1) die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird.
7. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass für die Schwellenwerte S1 und S2 eine Abhängigkeit von der jeweiligen Temperatur des SCR-Katalysators (5) und eine Abhängigkeit von der Lastanforderung an die Brennkraftmaschine (1) vorgegeben wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Erhöhung der Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) durch eine Veränderung des Zündwinkels und/oder der Kraftstofflinspritzparameter der Brennkraftmaschine (1) vorgenommen wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ausgangssignal eines in der Abgasleitung (2) zwischen Stickoxid-Speicher-Katalysator (4) und SCR-Katalysator (5) angebrachten NO_x/NH₃-Sensors (8) zur Ermittlung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) verwendet wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

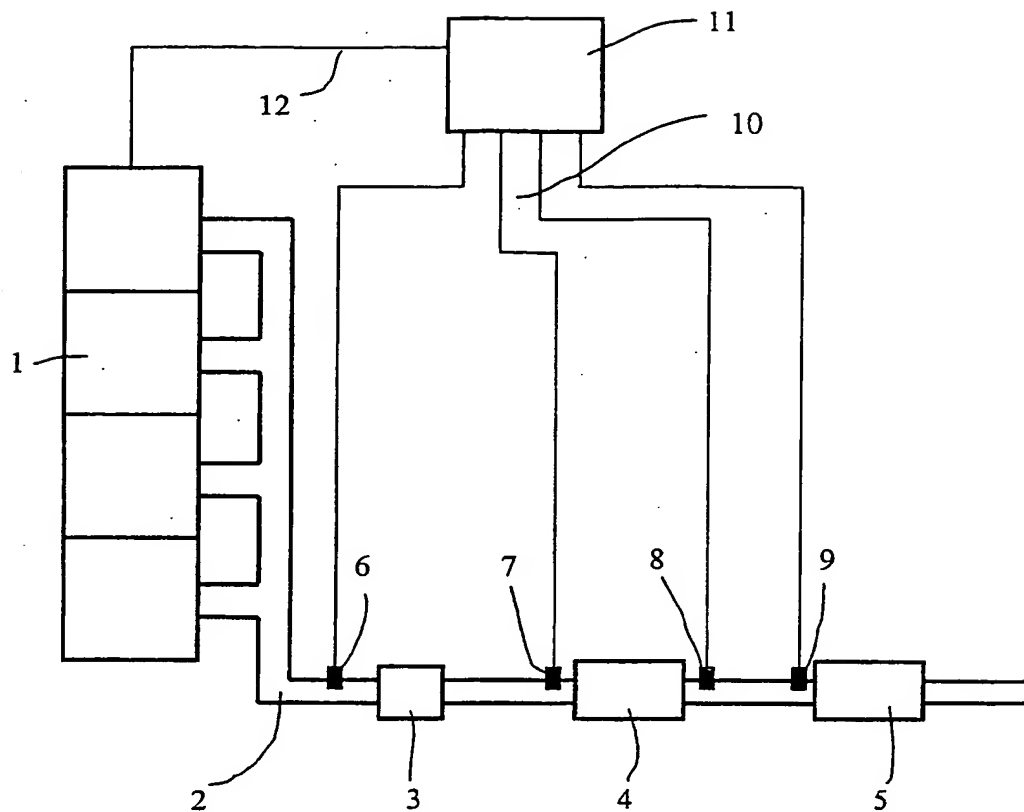


Fig. 1

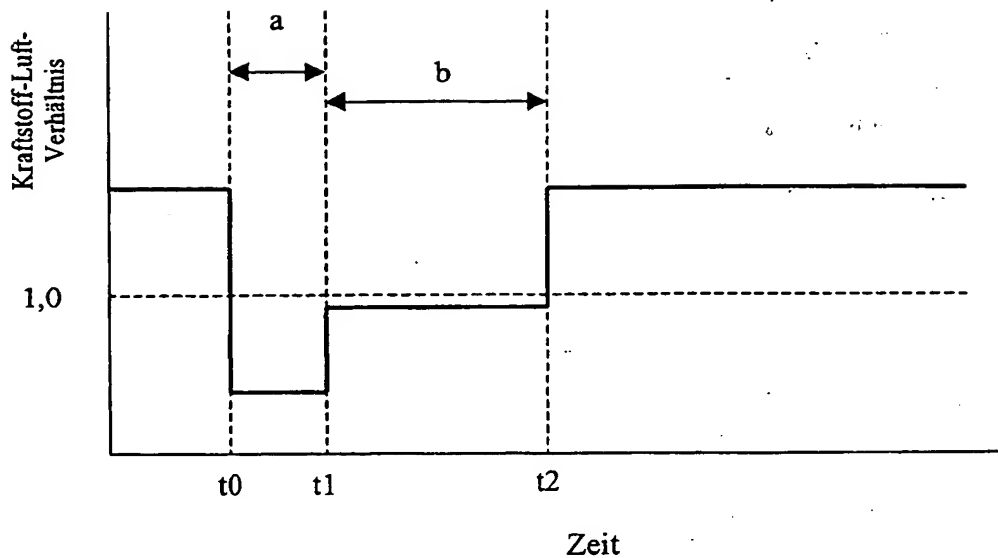


Fig. 2

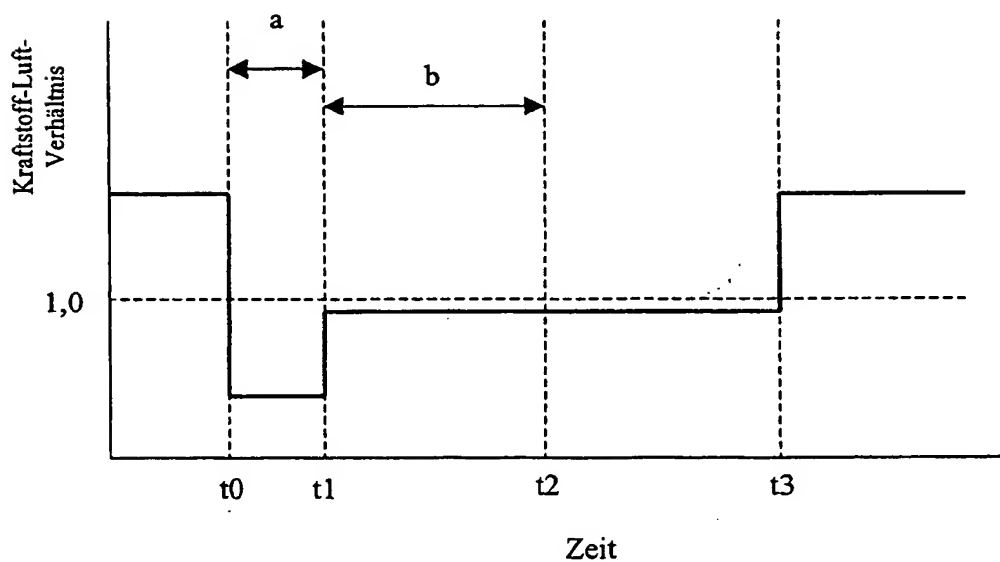


Fig. 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.